



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS DIADEMA



Curso de Graduação em Engenharia Química

**Estudo de viabilidade econômica da reciclagem mecânica
no Brasil: perspectiva dos plásticos provenientes de RSU
com destino às cooperativas de reciclagem**

Aluna: Michelle Dayane Perrud

Orientador: Prof. Dr. Rogério Scabim Morano

Diadema – SP

2019

Michelle Dayane Perrud

Estudo de viabilidade econômica da reciclagem mecânica no Brasil: perspectiva dos plásticos provenientes de RSU com destino às cooperativas de reciclagem

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência
parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Químico, ao Instituto
de Ciências Ambientais,
Químicas e Farmacêuticas da
Universidade Federal de São
Paulo – Campus Diadema.
Orientador: Prof. Dr. Rogério
Scabim Morano

Diadema – SP

2020

Perrud, Michelle Dayane

Estudo de viabilidade econômica da reciclagem mecânica no Brasil: perspectiva dos plásticos provenientes de RSU com destino às cooperativas de reciclagem / Michelle Dayane Perrud. – – Diadema, 2020.

35f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)
- Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2020.

Orientador: Rogério Scabim Morano

1. Plásticos. 2. Reciclagem. 3. Viabilidade. I. Título.

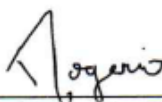
MICHELLE DAYANE PERRUD

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA RECICLAGEM
MECÂNICA NO BRASIL: PERSPECTIVA DOS PLÁSTICOS
PROVENIENTES DE RSU COM DESTINO ÀS COOPERATIVAS DE
RECICLAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química, ao Instituto de
Ciências Ambientais, Químicas e
Farmacêuticas da Universidade Federal
de São Paulo – Campus Diadema.

Aprovado em: 14/10/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rogerio Scabim Morano
Orientador



Profa. Dra. Luciana Yumi Akisawa Silva



Prof. Dr. Roberto Nasser Junior

Às mulheres que antes de mim não tiveram a oportunidade de dar nome aos seus trabalhos científicos e ao meu avô Augustinho, meu primeiro professor e pessoa mais engenhosa que já conheci sem letramento.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador Rogério que com maestria, além de me orientar, soube me incentivar na elaboração deste trabalho e a realizar os ajustes necessários a fim de não postergar a entrega diante da pandemia do coronavírus.

Agradeço às pessoas de EV que me proporcionaram tantas oportunidades durante meu estágio de 2017 a 2019, na área de aditivos para plásticos da BASF. Em especial por ter sido escolhida para representar nosso time em tantos encontros da Rede de Cooperação para os Plásticos, idealizada pela ABIPLAST. De um deles, ocorreu-me o recorte deste trabalho.

Agradeço aos meus familiares e amigos por me apoiarem sempre e entenderem minhas ausências nos finais de semana, treinos e comemorações. Obrigada por não desistirem de me convidar, mesmo já esperando a minha indisponibilidade e por me proporcionarem ótimos momentos de distração quando possível.

RESUMO

O trabalho a seguir permeia a tendência global de aumento acelerado no consumo dos plásticos ao decorrer das últimas décadas. Particularmente, adentra-se na atual atratividade econômica da reciclagem mecânica para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Foi feita uma base teórica para contextualização do estudo, nela apresenta-se a definição dos conceitos de: Resíduos Sólidos Urbanos, Resina pós Consumo, Plásticos, Economia Circular, Recuperação Energética e Reciclagem Química. Por meio do valor presente líquido, método da engenharia econômica, calculou-se a viabilidade do investimento necessário para a formação de uma cooperativa de reciclagem mecânica e seu retorno financeiro aos membros cooperados. Concluiu-se que dentro de três anos a cooperativa hipotética, retornaria o valor investido e passaria a gerar lucros e acrescentar uma renda significativa ao salário dos cooperados. Ela foi simulada dentro dos padrões médios encontrados nas sete cooperativas reais analisadas. O trabalho evidencia as múltiplas importâncias para o país em estimular esta atividade econômica que soluciona questões ambientais e sociais simultaneamente.

Palavras-chave: Plásticos. Reciclagem. Viabilidade Econômica

ABSTRACT

The following work permeates the global trend of accelerated increase in the consumption of plastics over the past few decades. In particular, the current economic attractiveness of mechanical recycling for the treatment of urban solid waste in Brazil is included. A theoretical basis was used to contextualize the study, which presents the definition of the concepts of: Urban Solid Waste, Resin post Consumption, Plastics, Circular Economy, Energy Recovery and Chemical Recycling. Using the net present value, an economic engineering method, the feasibility of the investment required to form a mechanical recycling cooperative and its financial return to cooperative members was calculated. It was concluded that within three years the hypothetical cooperative would return the amount invested and would start to generate profits and add significant income to the salary of the members. It was simulated within the average standards found in the seven real cooperatives analyzed. The work highlights the various reasons why it is important for the country to stimulate this economic activity that solves environmental and social issues simultaneously.

Keywords: Plastics. Recycling. Economic Viability

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 – Fluxograma para Delimitar os Cálculos da Reciclagem Mecânica</u>	17
<u>Figura 2 – Fluxograma da Reciclagem Mecânica</u>	18
<u>Figura 3 – Participação das Regiões nos RSU coletados no Brasil</u>	19
<u>Figura 4 – Índice de Cobertura da Coleta de RSU (%)</u>	20

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1 – Quantidades mensais médias comercializadas pelas cooperativas</u>	20
<u>Tabela 2 – Quantidades mensais médias comercializadas de plástico</u>	21
<u>Tabela 3 – Quantidades mensais médias comercializadas de PEBD, PEAD e PET</u> .	22
<u>Tabela 4 – Preços médios da comercialização de PEAD, PEBD e PET</u>	22
<u>Tabela 5 – Faturamento proporcionado pelo plástico</u>	23
<u>Tabela 6 – Variáveis que compõem os custos de uma cooperativa</u>	23
<u>Tabela 7 – Custo mensal médio das cooperativas</u>	24
<u>Tabela 8 – Custos médios mensais de PEAD, PET e PEBD</u>	25
<u>Tabela 9 – Retorno anual estimado pelo PEAD, PET e PEBD</u>	25
<u>Tabela 10 – Quantidade de cooperados, peso e o retorno anual médio ponderado</u> .	26
<u>Tabela 11 – Renda de um membro por cooperativa</u>	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVOS.....	8
3 JUSTIFICATIVAS	9
4 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
4.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	10
4.1.1 <i>Rejeitos</i>	11
4.2 Plásticos	12
4.3 Economia Circular	13
4.4 Reciclagem Mecânica	14
4.5 Recuperação Energética.....	14
4.6 Reciclagem Química	15
4.7 Resina pós Consumo (PCR).....	16
5 METODOLOGIA.....	17
5.1 Dados e Premissas de Cálculo.....	17
5.1.1 <i>Levantamentos da Reciclagem Mecânica</i>	17
5.1.2 <i>Dados das Cooperativas e Cálculos</i>	20
5.1.3 <i>Método do Valor Presente Líquido (VPL)</i>	27
5 CONCLUSÃO	29

1 INTRODUÇÃO

Há um esforço cada vez maior para que um viés sustentável seja seguido na maneira em que homem extrai recursos da natureza. Estima-se que 10% de todo lixo gerado pelos seres humanos é plástico (NEW..., 2015). Do total de resíduos já produzidos pela humanidade, entre 1950 a 2015, apenas 9% foi reciclado, 12% foi incinerado e 79% está acumulado em aterros sanitários e lixões ou no meio ambiente. Nenhum dos plásticos comumente utilizados é biodegradável (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Seja, nos mares, rios ou em centros urbanos a destinação incorreta poderá fazer com que o plástico leve mil anos para deixar de ocupar uma paisagem. Diante da contaminação quase permanente dos ambientes naturais pelo acúmulo do lixo plástico; a indústria, a sociedade e o governo procuram um novo olhar para a produção, consumo e gestão do uso do plástico. A atenção e esforços hoje concentram-se em reduzir a produção do plástico de uso único, primordialmente as embalagens. Visto que metade do plástico consumido é descartável (SINGLE, 2018).

O uso dos plásticos continuará a aumentar, pois eles reduzem significativamente os impactos ambientais. Ele é aplicado em diversos mercados, desde dispositivos médicos, eletrônicos, da construção civil e do setor de transportes. Descobriu que os plásticos ajudam a reduzir os custos ambientais em quatro vezes em comparação com as alternativas. Nas embalagens, por exemplo, os plásticos proporcionam benefícios ambientais significativos, incluindo reduções no uso de energia, emissões de gases geradores do efeito estufa e resíduos (PLASTICS, 2016). A produção global de resinas plásticas em 2015 foi de 380 milhões de toneladas, com uma taxa de crescimento anual de 8,4%. De 1950 a 2015 calcula-se um total já produzido de 7800 milhões de toneladas (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Mais de 8 milhões de toneladas chegam aos oceanos anualmente, o acúmulo está em 150 milhões de toneladas. Projeta-se que em 2050 haverá mais plásticos que peixes no oceano, em massa (THE NEW, 2017).

Embora o plástico tenha o efeito de reduzir o custo ambiental, a poluição plástica é considerada uma das principais causas de danos ao meio ambiente e à

saúde. 5 trilhões de unidades de sacolas plásticas são usadas no mundo durante um ano (SINGLE, 2018). Das campanhas de limpezas costeiras mundiais, em ordem decrescente de quantidade, os cinco itens mais encontrados foram bitucas de cigarros, garrafas plásticas de bebidas, tampas plásticas, embalagens de alimentos e sacolas plásticas (INTERNATIONAL, 2017). No Brasil, a Organização das Nações Unidas (ONU) tem como meta a redução significativa do lixo plástico que chega ao mar a partir do território brasileiro. Ela também visa a disseminação de conhecimento sobre o tema para que ocorra a evolução da cadeia produtiva do plástico em direção à Economia Circular, os dados foram divulgados pelo *United Nations Environment Programme* (UNEP) (2018).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos, no Brasil, 71,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram coletados em 2017, diariamente foram geradas 22 mil toneladas de plástico frente as 2 mil toneladas diárias que foram recuperadas (ABRELPE, 2018). A produção de plásticos transformados no Brasil em 2016 foi de 6,2 milhões de toneladas, no mesmo ano 550 mil toneladas foram recicladas. Foi estabelecido um Acordo Setorial de Embalagens brasileiro, o qual atingiu as principais metas relativas ao aumento na taxa de recuperação e à redução das embalagens enviadas para aterros (PERFIL, 2018).

Com a publicação da Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019, passou-se a ser permitido a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos (RSU) por meio de outro processos, a oxidação térmica, decomposição térmica, gaseificação ou processos de plasma abre-se um questionamento sobre os impactos no perfil da destinação final dos resíduos sólidos urbanos do país. A portaria afirma que a recuperação energética deve ser adotada após observadas as alternativas prioritárias, dentre elas a reciclagem. Neste contexto, este trabalho visa aprofundar-se nos dados econômicos da maneira mais utilizada de recuperar os RSU no Brasil, a reciclagem mecânica, para apoiar na elucidação dos pontos decisores que direcionará o perfil de recuperação dos RSU no universo dos plásticos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é determinar qual é a atratividade econômica da reciclagem mecânica para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos no âmbito dos plásticos. Especificamente, pretende-se verificar a viabilidade do processo ao analisar considerando os custos iniciais do investimento, de manutenção, de operação e o retorno anual, do processo no Brasil.

3 JUSTIFICATIVAS

Apenas mais uma garrafa, pensaram sete bilhões de pessoas. É uma tragédia dos comuns a raiz do problema, 75% de todo o plástico já produzido já foi descartado (SOLUCIONAR, 2019). Segundo o *World Wildlife Fund* (WWF) (2019) o Brasil encontra-se na quarta posição da lista dos países que mais geram resíduos plásticos. Embora a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) conteste os dados da pesquisa divulgada (DANTAS, 2019) é unanimidade que a forma linear de consumo precisa ser revista. No entanto, para mudar os hábitos da humanidade, além da conscientização de que cada ser humano precisa fazer de fato sua parte, é necessário que muitos estudos sejam realizados e difundidos. Somente assim, soluções e ações mais sustentáveis surgirão. Neste sentido, justifica-se a importância deste trabalho.

4 REVISÃO DA LITERATURA

O intuito deste capítulo é elucidar as definições pretendidas no uso dos conceitos citados e fazer uma breve contextualização dos que complementam o entendimento do universo dos plásticos. Foram eles: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Resina pós Consumo (PCR), Plásticos, Economia Circular, Reciclagem, Recuperação Energética e Recuperação Química.

4.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2012), o qual estabeleceu as diretrizes, estratégias, metas, programas e ações, dá concretude à Política Nacional de Resíduos Sólidos e aos seus instrumentos, os resíduos sólidos corresponde a todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, ou seja, resíduos domiciliares e de limpeza urbana. Sendo considerada limpeza urbana a varrição, a limpeza de logradouros ou vias públicas, entre outros serviços nesse âmbito. O plano também classifica os resíduos de acordo com sua natureza, a qual pode ser úmida ou seca.

Além disso, o plano retoma as alternativas prioritárias para a destinação final adequada dos resíduos, estabelecidas no caput do artigo 9º, da Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Assim, tanto para os resíduos de natureza seca ou úmida deve-se observar primeiro a possibilidade de: não geração, redução, reutilização, reciclagem e por fim de tratamento. No caso dos úmidos, acrescenta-se ao final desta priorização a compostagem, para fins de o aproveitamento energético do biogás gerado em biodigestores ou em aterros sanitários. Além do desenvolvimento de novos processos visando à geração de energia a partir da parcela úmida e a produção de composto orgânico com fins agricultáveis.

O plano expõe informações econômicas obtidas a partir do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS). A partir de uma amostra de municípios utilizada, as despesas com a gestão dos RSU como um todo alcançam

valores médios anuais perto de R\$ 70,00 por habitante. Notou-se um crescimento das despesas de acordo com o aumento do tamanho dos municípios. Ao passo que, quando analisados os custos exclusivos de agentes privados, esses pareceram ser superiores aos dos agentes públicos, segundo o instituto.

4.1.1 *Rejeitos*

Ainda conforme o plano, vale complementar que, são considerados rejeitos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentarem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

De acordo com a norma NBR.10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004), os RSU denominados como lixo urbano, são resultantes da atividade doméstica e comercial dos centros urbanos. A composição é variável conforme os hábitos e situação socioeconômica de cada população, envolve a identificação do processo ou atividade que o originou. Em resumo, a Norma classifica esses resíduos como perigosos e não perigosos à saúde humana e ao meio ambiente.

De maneira mais detalhada, a mesma norma define os RSU como resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços e de varrição. Também são incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água. Dentro dos RSU classificados como não perigosos estão os:

- Provenientes de matéria orgânica, tais como restos de comida;
- Papel e papelão: jornais, revistas, caixas e embalagens;
- Plásticos: garrafas, garrações, frascos, embalagens;

- Vidro: garrafas, frascos, copos; metais: latas;
- Outros: roupas, óleos de motor, resíduos de eletrodomésticos.

Nota-se que os resíduos plásticos, objetos de interesse deste trabalho, de acordo com definição adotada pela norma citada é classificado como não perigoso.

4.2 Plásticos

Os plásticos são primordialmente materiais de origem fóssil, a principal matéria-prima para a fabricação dos plásticos é o petróleo. No entanto, apenas 4% da produção mundial de petróleo e gás é usada como matéria-prima para a produção de plásticos. Pela energia requerida no processamento acrescenta-se de 3 a 4%, totalizando uma média de 7,5% (HOPEWELL, DVORAK E KOSIOR, 2009, THOMPSON et al., 2009). É considerado uma matéria-prima de baixo custo, leve, higiênico, resistente, durável e inerte – ao contrário dos metais não sofre corrosão. Sua versatilidade proporciona o desenvolvimento de uma infinidade de produtos com ampla gama de aplicações (SINGLE, 2018).

De acordo com o comportamento térmico durante o processamento os polímeros plásticos podem ser classificados em dois grupos, os termoplásticos e os termofixos. Ambos são moldáveis durante o processamento. Os termoplásticos, amolecerão facilmente quando aquecidos, este processo pode ser repetido inúmeras vezes e a degradação do polímero será mínima. Em oposição, os termofixos, não são facilmente moldáveis por aquecimento, sendo que ao final do processo tornam-se rígidos e resistentes ao aumento de temperatura. Assim, os plásticos termofixos normalmente são mais rígidos que os termoplásticos (PARENTE, 2006).

Os principais exemplos de polímeros termofixos são: aminoplásticos, epóxis, fenólicos (fenol formaldeído), poliésteres e silicones. Entre os polímeros termoplásticos, os principais são: os acrílicos, os celulósicos, o etil vinil acetato (EVA), o polietileno tereftálico (PET), as poliamidas, o polietileno (PE) – comumente subdividido entre polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno de baixa

densidade (PEBD), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC), o policarbonato (PC) e o polipropileno (PP) (PARENTE, 2006). Desses, os que possuem maior volume de produção e preço relativamente baixo são: PET, PVC, PE (de alta e baixa densidade), PS e PP (ANDRADY; NEAL, 2009).

A maioria dos plásticos não é biodegradável, mas sim fotodegradada, o que significa que lentamente se decompõem em pequenos fragmentos conhecidos como microplásticos. A fragmentação de grandes itens de plástico em microplásticos ocorre preferencialmente em regiões praianas por causa da alta radiação ultravioleta (UV) e abrasão das ondas, por outro lado, o processo de degradação é muito mais lento no oceano devido a temperaturas mais baixas e menor exposição aos raios (UV) (SINGLE, 2018).

4.3 Economia Circular

Cronologicamente a economia desenvolveu-se modo linear, a base de: extração, produção, consumo e descarte (DUTHIE; LINS, 2017). Este modelo é conhecido como do “berço ao túmulo”. Em contrapartida, conceitos como o do “berço ao berço” ilustra o significado de economia circular, um segmento da ciência econômica ambiental que visa um desenvolvimento sustentável (FERRER, 2017).

A circularidade caracteriza-se por *loops* internos nos processos e consumo, tais como: reutilização, restauração, renovação, compartilhamento ou reciclagem. A intenção dos adeptos deste conceito é manter os recursos na economia por um período mais longo, com a consequente diminuição da extração de novos recursos naturais (DUTHIE; LINS, 2017). Trata-se de um novo modelo econômico que visa reduzir ou zerar a geração de resíduos ao transformá-los em insumos, os quais podem retornar aos processos das cadeias produtivas. Isto é, cada vez mais os agentes econômicos são orientados a migrar da economia industrial linear, atual, para uma restaurativa ou regenerativa por intenção e design segundo a fundação Ellen MacArthur Foundation (THE NEW, 2017).

4.4 Reciclagem Mecânica

Segundo Oliveira (2012) diversos estudos apontam que, depois do reuso, a forma mais ambientalmente correta de reaproveitar os plásticos é a reciclagem. Maria utiliza uma classificação compendiada de conceitos ligados a reciclagem. Dividida em reciclagem primária, secundária, terciária e quaternária. Tal classificação incorpora, seguindo a ordem mencionada acima, sob o conceito de reciclagem:

- A re-extrusão, chamada de reciclagem pré-consumo, baseia-se na reintrodução de sucatas e fragmentos de polímeros no ciclo para a produção;
- A reciclagem mecânica, a qual parte do reprocessamento de materiais poliméricos por meio de etapas que envolvem lavagem, separação, secagem e granulação. Dependente de uma rede informal de catadores de lixo, cooperativas e comerciantes;
- A reciclagem química, a qual consiste na reciclagem de produtos químicos ou de matéria prima envolvendo processos de despolimerização e pirólise;
- A recuperação energética, queima dos resíduos para gerar calor, vapor ou energia.

Para melhor compreensão da definição que se pretende tratar como reciclagem mecânica, será elucidado na sequência a definição de recuperação energética e reciclagem química.

4.5 Recuperação Energética

Segundo Filho (2008) a incineração é o processo físico-químico pelo qual se transforma a matéria-prima por efeito do aumento da temperatura. Essa destruição térmica é realizada sob alta temperatura – de 800 a 1200 °C. Pode-se dividi-la em três fases:

- Combustão: fase na qual os resíduos são tratados a diferentes temperaturas;
- Pós-Combustão: fase na qual os gases produzidos na combustão são tratados a temperaturas elevadas (1.200°C) com excesso de ar;
- Depuração: fase em que os gases são esfriados tratados para eliminar contaminantes e partículas em suspensão.

O calor recuperado pela incineração pode representar cerca de 6 a 7 % da energia consumida pela população que gera o RSU. A energia recuperada tem sido utilizada para aquecimento de água, sistemas de calefação e geração de vapor ou energia elétrica para indústrias (MENEZES; GERLACH; MENDES, 2000). Para Porteous (2005) as usinas de incineração com recuperação de energia podem ser uma das soluções. Estas usinas do lixo à energia, *waste-to-energy* (WTE), são consideradas a forma mais racional de reaproveitar a energia contida nos componentes orgânicos, visto que cada tonelada de lixo pode gerar cerca de 500 kWh de energia elétrica, quantidade equivalente à gerada por 200 kg de petróleo.

Em outras palavras, a incineração é um método de recuperação de energia pela queima de resíduos. Vale ressaltar que nem toda incineração produz energia, pois muitas vezes resíduos são queimados como um meio de descarte. Ainda assim, é preferível como o último recurso porque mesmo inerente de um alto impacto ambiental, com partículas transportadas pelo ar e emissões de gases de efeito estufa, evita que os RSU se acumulem no meio ambiente e elimina a produção do gás metano ao contrário do que ocorre nos aterros sanitários (PAGLIUSO; REGATTIERI, 2008).

4.6 Reciclagem Química

A recuperação química envolve decomposição, ela pode ser feita por duas técnicas. Uma delas é caracterizada pela reciclagem química de monômeros, de modo que um polímero é quimicamente convertido de volta aos monômeros constituintes, tornando-se reversível o processo de polimerização original. A outra

caracteriza-se pela conversão ou reciclagem de plásticos em combustível, *plastic-to-fuel* (PTF). Ambas podem converter os materiais plásticos em uma matéria-prima equivalente ao petróleo ou a produtos petroquímicos. De modo que os produtos resultantes destas vias podem alimentar, respectivamente, refinarias ou fábricas de produtos químicos (RAHIMI; GARCIA, 2017).

Os processos mais conhecidos para a reciclagem química de monômeros são: quimólise, hidrólise; metanólise, glicólise e aminólise. Já para realizar a PFT, pode-se fazer uso do processo de pirólise, decomposição térmica que leva à transformação do composto orgânico por aquecimento. Além do craqueamento catalítico de fluidos, das tecnologias de hidrogênio, do processo KDV - *acrônimo de Katalytische Drucklose Verölung* em alemão para conversão catalítica sem pressão em óleo e da gaseificação (RAHIMI; GARCIA, 2017). Mais recentemente, estuda-se também a liquefação hidrotérmica que utiliza água supercrítica para a liquefação do polipropileno em água (CHEN *et al.*, 2019). A saída da pirólise é constituída por cerca de 70% a 80% de óleo e de 10% a 15% de gás (CONVERSION, 2011).

4.7 Resina pós Consumo (PCR)

Partindo de uma visão simplista, todo resíduo plástico pode ser convertido em uma nova resina plástica, feita de material reciclado pós-consumo. Por exemplo, a reciclagem química é o método de tratamento dos resíduos pós-consumo por intermédio de processos termoquímicos de transformação. Tais processos permitem a obtenção, de uma nova resina que pode ser reincorporada à cadeia produtiva (HORVAT; FLORA, 1999).

5 METODOLOGIA

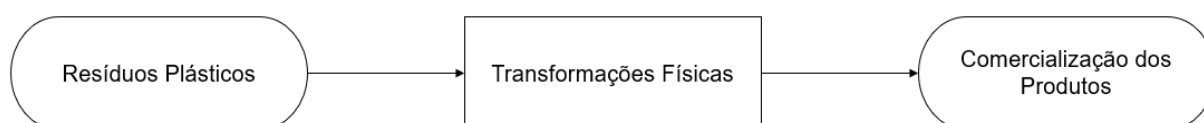
Este capítulo estruturará o tratamento dos dados da coleta à aplicação para esta pesquisa bibliográfica descritiva.

Os documentos que orientaram este estudo formam uma coletânea de publicações das instituições que gerenciam quantitativa e qualitativamente os dados dos RSU. Partiu-se de uma abordagem indutiva, isto é, de um raciocínio que, após considerar um número suficiente de casos particulares, encontra uma verdade geral (CERVO, 1978). Procurou-se estimar por meio de recursos estatísticos financeiros os custos e a rentabilidade do processo de reciclagem mecânica.

5.1 Dados e Premissas de Cálculo

Para a simulação econômica do processo de reciclagem mecânica foi utilizado o fluxograma indicado na Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma para Delimitar os Cálculos da Reciclagem Mecânica



Fonte: Elaboração própria.

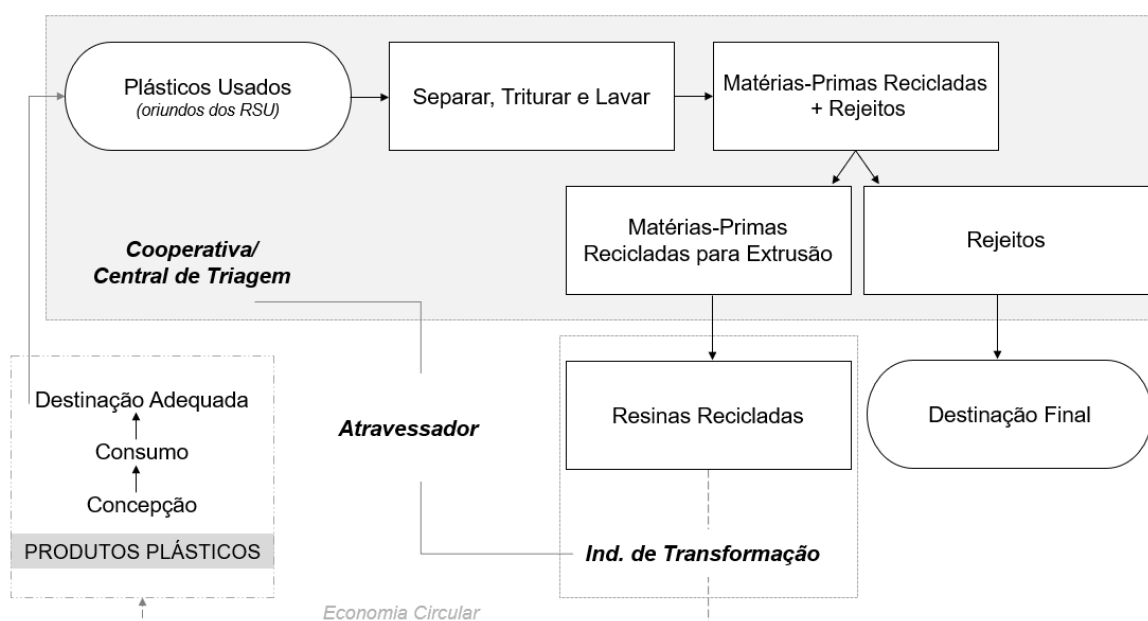
5.1.1 *Levantamentos da Reciclagem Mecânica*

Dos levantamentos mais recentes, entre 2015 e 2016, a indústria de transformação do plástico faturou R\$ 78,3 bilhões (PERFIL, 2018). No cenário brasileiro, estimou-se que 78,4 milhões de toneladas de RSU foram geradas em 2017, dos quais a cobertura de coleta atingiu 71,6 milhões de toneladas. 29 milhões de toneladas foram dispostas em locais inadequados, como lixões ou aterros controlados. 42,3 milhões de toneladas após seleção ou não, chegaram aos aterros sanitários. Na teoria da PNRS apenas os rejeitos dos RSU deveriam chegar aos

aterros sanitários. No entanto, frente à fatia representativa de plásticos de 48% dos RSU gerados em 2016 e mesmo percentual em 2017 constatou-se um índice de 8% de recuperação também consecutivo de recicláveis (ABRELPE, 2018). Destes, apenas 550 mil toneladas de plásticos foram recicladas mecanicamente em 2016 (PERFIL, 2018). Fontes oficiais do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) indicam um índice de reciclagem dos RSU próximo a 10% em 2019 e estima que o segmento movimenta R\$ 12 bilhões por ano, deixando de reciclar mais R\$ 8 bilhões pela parcela de RSU não atingida (CIOCCHI, [2019]).

É atribuído aos municípios a coleta e destinação correta dos RSU. Os municípios com coleta seletiva, 70,4%, totalizam 3.923 municípios (ABRELPE, 2018). Em sua maioria, os municípios encaminham os RSU às cooperativas. As quais, após valorizarem os materiais comercializam aos recicladores. A negociação nesta cadeia é frequentemente atravessada por um terceiro ator, chamado de “*aparista*”, que compra os materiais coletados por catadores ou cooperativas, aumentam o volume e vendem às indústrias de transformação (FIDELIS, 2017).

Figura 2 – Fluxograma da Reciclagem Mecânica

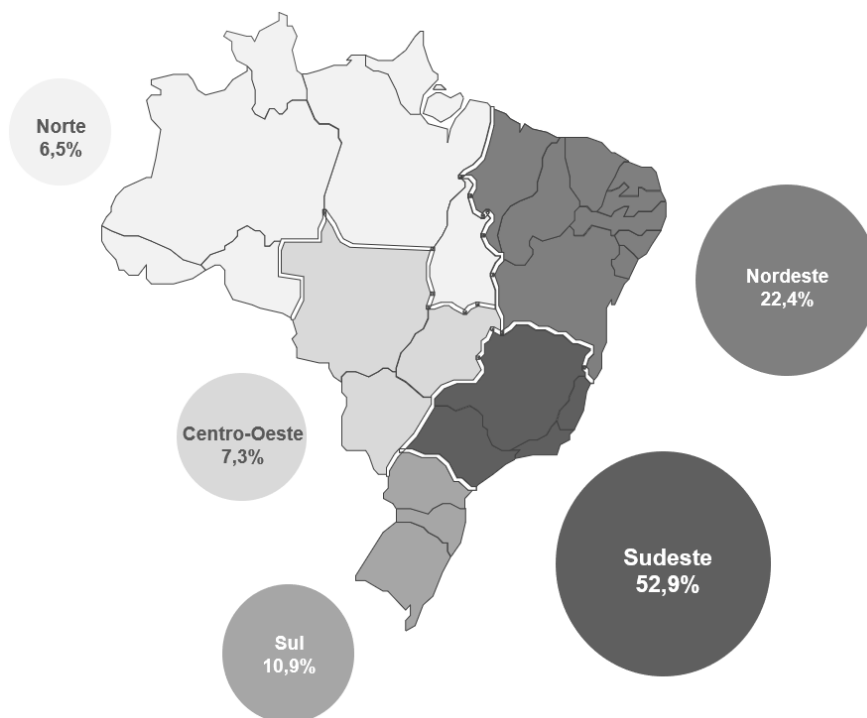


Fonte: Adaptado de PERFIL (2018); Maria (2012) e Fidelis (2017).

Mapear o responsável pela coleta, triagem, fragmentação, separação, lavagem, armazenagem e transporte dos plásticos usados torna-se desafiador pelo envolvimento de uma rede informal de trabalhadores e agentes. Para o cálculo do VPL, a reciclagem mecânica será idealizada como uma operação única delimitada na Figura 2 pelo âmbito da cooperativa ou central de triagem. Importante destacar que o produto comercializado a partir da reciclagem mecânica é um material intermediário que pode atender à diversas aplicações, perto das inúmeras opções da resina virgem.

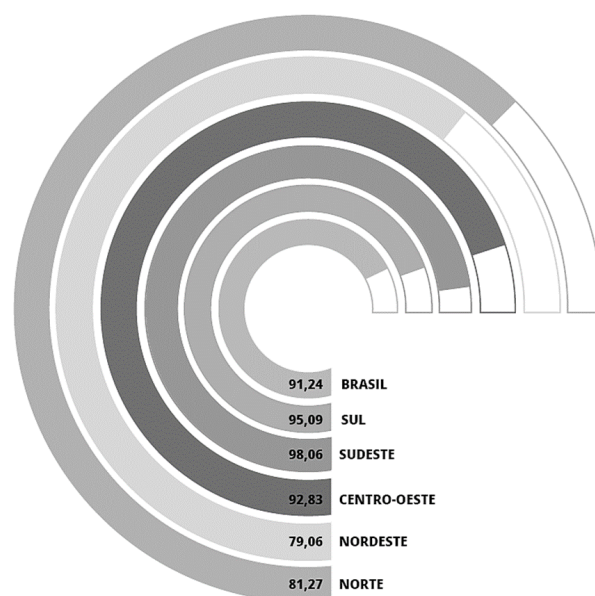
Para estimar o lucro da reciclagem mecânica baseou-se nos dados de sete cooperativas localizadas no estado do Paraná, região Sul do Brasil, os dados foram levantados para a elaboração de uma tese de doutorado brasileira por Reginaldo Fidelis (FIDELIS, 2017). Conforme expõem as Figuras 3 e 4, o recorte dos dados levou em consideração que a região Sul possui o segundo maior índice de cobertura na coleta dos RSU no país e possui relevante participação no índice de RSU coletados no Brasil. Apresentou em 2017 a terceira maior contribuição entres as regiões no total de RSU coletados mesmo sendo a menor região do país (ABRELPE, 2018)

Figura 3 – Participação das Regiões nos RSU coletados no Brasil



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2018).

Figura 4 – Índice de Cobertura da Coleta de RSU (%)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2018).

5.1.2 Dados das Cooperativas e Cálculos

Segundo Fidelis (2017) as sete cooperativas juntas coletaram, em 2015, 11.304.341 toneladas, um quarto do volume potencial dos RSU gerados pelo município de Londrina. Os cinco principais materiais, que representam mais de 60% do volume comercializado pelas cooperativas são: papel, papelão, PEAD, PET, PEBD. A quantidade mensal média de oito meses de coleta desses materiais comercializados por cada cooperativa em 2015 foi indicada na Tabela 1:

Tabela 1 – Quantidades mensais médias comercializadas pelas cooperativas

Cooperativa	Quantidade mensal média (t)
1	427,10
2	158,22
3	87,89
4	137,75
5	126,66
6	90,13
7	192,20

Fonte: Elaboração própria.

As características gravimétricas dos RSU coletados no Brasil indicam a distribuição de: 42,3% de plástico; 41,1% de papel, papelão e tetrapak; 9,09% de metais (7,21% de aço e 1,88% de alumínio) e 7,5% de vidro (IPEA, 2012). Chegou-se no percentual de 50,7% de representatividade dos plásticos em relação aos cinco materiais que representam 60% da quantidade comercializada pelas cooperativas por meio da Equação 1:

$$\%Plást = \frac{\% \text{ de plásticos}}{\% \text{ dos 5 materiais}} \quad (1)$$

Sendo que:

%Plást, percentual dos plásticos em relação à quantidade total dos cinco materiais mais comercializados;

% de plásticos, percentual da quantidade dos plásticos coletados nos RSU segundo as características gravimétricas dos RSU coletados no Brasil;

% dos 5 materiais, percentual da quantidade total dos cinco materiais mais coletados: papel, papelão, PEAD, PET e PEBD. Dado pela soma dos percentuais de plásticos e papel, respectivamente, 42,3% e 41,1%.

Assim, as quantidades mensais médias comercializadas por cada cooperativa foram expressas na Tabela 2:

Tabela 2 – Quantidades mensais médias comercializadas de plástico

Cooperativa	Quantidade mensal média (t)
1	216,62
2	80,25
3	44,58
4	69,87
5	64,24
6	45,71
7	97,48

Fonte: Elaboração própria.

A partir da abertura do percentual dos plásticos: plástico filme (flexível), 27,9%, e plástico rígido, 14,4% (IPEA, 2012) calculou-se a quantidade mensal média de PEBD (plástico flexível), PEAD e PET (plásticos rígidos), indicados na Tabela 3:

Tabela 3 – Quantidades mensais médias comercializadas de PEBD, PEAD e PET

Cooperativa	Quantidade mensal média (t)	
	PEBD	PEAD+ PET
1	142,88	73,74
2	52,93	27,32
3	29,40	15,18
4	46,08	23,78
5	42,37	21,87
6	30,15	15,56
7	64,30	33,19

Fonte: Elaboração própria.

Apesar do PEAD ser comercializado em uma média levemente maior, o preço de uma tonelada de PEAD e de PET é muito próximo, o preço do PET em determinadas cooperativas praticamente igualou-se ao preço do PEAD comercializado por outras. Assim, diante dos dados disponíveis, aceitou-se que uma média do preço de ambos é válida para simplificar os cálculos. Os preços médios foram indicados na Tabela 4:

Tabela 4 – Preços médios da comercialização de PEAD, PEBD e PET

Cooperativa	Preço médio de uma tonelada (R\$)	
	PEBD	PEAD+PET
1	1290,00	690,00
2	1125,00	650,00
3	1085,00	590,00
4	1115,00	620,00
5	1125,00	600,00
6	1225,00	680,00
7	1000,00	620,00

Fonte: Elaboração própria.

Multiplicando a quantidade mensal vendida de plástico pelo preço médio comercializado destes, calculou-se o faturamento mensal, em reais, que o plástico permite às cooperativas conforme indicado na Tabela 5:

Tabela 5 – Faturamento proporcionado pelo plástico

Cooperativa	Faturamento mensal médio dos Plásticos (R\$)
1	193.715,97
2	65.137,69
3	33.812,36
4	55.090,09
5	50.026,14
6	39.566,42
7	73.049,83

Fonte: Elaboração própria.

Para os custos totais mensais da operação de uma cooperativa considerou-se os dados basicamente do salário dos cooperados, pagamento de previdência, aluguel do local, aluguel dos veículos para transporte dos RSU, gastos de coleta. Não foram fornecidos valores de outros gastos gerais no estudo. A apresentação dos valores dos dados considerados encontra-se na Tabela 6:

Tabela 6 – Variáveis que compõem os custos de uma cooperativa

Coop.	Cooperados (quantidade)	Salário (soma)	Previdência (R\$ 143)	Aluguel (RS 10,00 m²)	Veículos (RS 4.875,00)	Serviços (coleta)
1	38	46.011,54	5.434,00	391,00	34.125,00	51.989,44
2	12	8.981,64	1.716,00	192,70	19.500,00	19.259,59
3	8	6.534,00	1.144,00	123,30	9.750,00	10.698,55
4	8	6.604,56	1.144,00	100,50	9.750,00	16.767,84
5	11	6.167,37	1.573,00	151,30	14.625,00	15.417,89
6	4	4.117,84	572,00	37,10	9.750,00	10.971,22
7	12	1.1976,60	1.716,00	36,60	14.625,00	23.395,86

Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, após somar o total destinado mensalmente ao pagamento do salário dos cooperados, a soma do valor direcionado à previdência, o total gasto com aluguel do local, veículos e com a coleta dos RSU obteve-se o custo estimado mensal, apresentado na Tabela 7

Tabela 7 – Custo mensal médio das cooperativas

Cooperativa	Custo mensal médio (R\$)
1	137.950,98
2	49.649,93
3	28.249,85
4	34.366,90
5	37.934,56
6	25.448,16
7	51.750,06

Fonte: Elaboração própria.

Não é trivial delimitar o custo de separação e tratamento exclusivos aos plásticos em uma cooperativa de reciclagem, uma vez que ao triar um tipo de RSU colabora-se para a separação, por consequência, de outros tipos. A consideração feita para estimar o custo recortado aos plásticos foi de que o esforço de separação dos materiais é igual. Logo, o custo de separar um material é proporcional ao seu percentual de representatividade na distribuição gravimétrica. Sabe-se que na prática alguns materiais são mais fáceis de separar e tratar que outros, esta é uma aproximação para efeitos de simplificar os cálculos diante dos dados disponíveis.

No Brasil, constatou-se que 42,3% (IPEA, 2012) da quantidade dos RSU coletados são plásticos. Embora a tese de Fidelis (2017) esteja em função dos materiais que representam cerca de 60% da quantidade de materiais comercializados, notou-se que os custos apresentados eram os custos totais. Ou seja, os custos englobavam todas as categorias de materiais comercializadas por uma cooperativa. Dessa forma, o percentual do custo dos plásticos em relação ao custo de todos os tipos de materiais comercializados aplicado foi o valor de 42,3%. Advindo das características gravimétricas dos RSU coletados no Brasil. O percentual aplicado nos dados da Tabela 6 resultaram nos valores da Tabela 8:

Tabela 8 – Custos médios mensais de PEAD, PET e PEBD

Cooperativa	Custo médio mensal dos plásticos (R\$)
1	58.353,26
2	21.001,92
3	11.949,69
4	14.537,20
5	16.046,32
6	10.764,57
7	21.890,27

Fonte: Elaboração própria.

Obteve-se a rentabilidade anual proveniente dos plásticos às cooperativas por meio da Equação 2:

$$Lucro.Plást = (Fat Plást - Custo Plást) \times 12 \quad (2)$$

Sendo que:

Lucro.Plást, lucro que os plásticos retornam às cooperativas por ano;

Fat. Plást, faturamento mensal pela comercialização dos plásticos;

Custo Plást, custo mensal para a cooperativa para valorizar o plástico.

A Tabela 9 evidencia o retorno anual estimado que os plásticos ofereceram a cada cooperativa:

Tabela 9 – Retorno anual estimado pelo PEAD, PET e PEBD

Cooperativa	Retorno anual dos plásticos (R\$)
1	1.624.352,44
2	529.629,31
3	262.352,04
4	486.634,69
5	407.757,88
6	345.622,20
7	613.914,64

Fonte: Elaboração própria.

Para fazer uma média ponderada do retorno anual de cada cooperativa levou-se em consideração como peso o número de cooperados de cada uma, conforme indicados na Tabela 10:

Tabela 10 – Quantidade de cooperados, peso e o retorno anual médio ponderado

Cooperativa	Quantidade	Peso	Retorno Ponderado (R\$)
1	38	41%	663.713,90
2	12	13%	68.339,27
3	8	9%	22.567,92
4	8	9%	41.861,05
5	11	12%	48.229,43
6	4	4%	14.865,47
7	12	13%	79.214,79
TOTAL	93	100%	938.791,82

Fonte: Elaboração própria.

O acréscimo mensal médio aos salários dos cooperados ficou em torno de R\$ 841,21, dado pela Equação 3:

$$Acr\acute{e}scimo = \left(\frac{\sum Retorno.Pond}{\sum N.Cooperados} \right) \div 12 \quad (3)$$

Sendo que:

Acréscimo, incremento mensal à renda dos cooperados ao final de um ano;

$\sum Retorno.Pond$, soma da média ponderada do retorno das cooperativas;

$\sum N.Cooperados$, soma da quantidade de cooperados nas cooperativas.

Somou-se o acréscimo calculado ao salário mensal informado por cada cooperativa e obteve-se a renda de um cooperado em cada cooperativa, apresentada na Tabela 11:

Tabela 11 – Renda de um membro por cooperativa

Cooperativa	Renda de um cooperado (R\$)
1	2.052,04
2	1.589,68
3	1.657,96
4	1.666,78
5	1.401,88
6	1.870,67
7	1.839,26

Fonte: Elaboração própria.

Sendo esses valores aplicáveis após o período necessário para se liquidar o investimento inicial de uma cooperativa de reciclagem.

5.1.3 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

Determinou-se o período necessário para se liquidar o investimento inicial de uma cooperativa de reciclagem por meio do método do VPL. Este método da engenharia econômica é utilizado para comparar o valor inicial de investimento com seu retorno futuro. De outro modo, quanto o valor futuro de um investimento, incluindo custos e taxa de juros valeria no presente. Este cálculo permite indicar se vale a pena realizar um investimento ou aplicar o dinheiro em uma opção que proporcione o rendimento mínimo, isto é, uma taxa mínima de atratividade (TMA) (CARDOSO JR, 2015). Para o cálculo do Valor Presente Líquido utilizou-se a Equação 4:

$$VPL = -CF_0 + \sum CF/(1+i)^j > 0 \quad (4)$$

Sendo que:

$-CF_0$, valor inicial do investimento;

CF , fluxo de caixa de cada período;

i , taxa de desconto escolhida ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA);

j , período em anos.

A TMA é estimada com base nas principais taxas de juros praticadas pelo mercado. No Brasil, as instituições financeiras consideram para cada área de investimento uma TMA específica. Assim, usou-se o valor de 10% ao ano para analisar a viabilidade do investimento em cada método de recuperação de RSU. O fluxo de caixa anual foi considerado constante e definido por uma cooperativa hipotética, de número de cooperados igual a 11, resultado da mediana do número de cooperados nas sete cooperativas abordadas. A Equação 5 explicitou o cálculo do CF:

$$CF = \left(\frac{\sum \text{Retorno Ponderado}}{\sum \text{Quant.Coops}} \right) \times 11 \quad (5)$$

Sendo que:

CF, fluxo de caixa de cada período;

Retorno Ponderado, retorno anual médio ponderado pela quantidade de cooperados em cada cooperativa;

Quant.Coops, quantidade de cooperados em cada cooperativa.

Assim, calculou-se que o retorno anual da cooperativa hipotética é igual a R\$ 111.039,89. Ao passo que se utilizou como referência o custo inicial para se levantar uma cooperativa de investimento, CF₀, o valor de R\$ 273.000,00 indicado pelo SEBRAE (CIOCCHI, [2019]).

Verificou-se por meio do VPL que a partir premissas efetuadas no período de três anos o investimento para formação de uma cooperativa é retornado de maneira tão lucrativa quanto a taxa de atratividade considerada proporcionaria.

5 CONCLUSÃO

É percebido que o consumo sustentável é uma megatendência que orienta a sociedade e faz com que ela repense as formas de extrair os recursos da natureza. Notou-se, entretanto, com pegada atual de uso dos plásticos que muito ainda precisa ser feito para tornar a atividade mais consciente. É necessário migrá-la da linearidade de produção para uma forma mais consciente, a economia circular. Foi visto ao longo da história que o plástico traz diversos benefícios na vida moderna, muitas vezes com um impacto ambiental menor que os materiais que poderiam substituí-lo.

Apesar disso, o nível da produção global, associada à destinação inadequada dos RSU faz com que o plástico seja uma das principais causas de poluição do meio ambiente. O Brasil torna-se um exemplo de escala local do que está acontecendo no mundo. Pelo trabalho conclui-se que a reciclagem mecânica do plástico é viável e tão importante como solução sustentável é o fator social dela. Sendo que muitos dos cooperados que possuem uma renda digna antes não tinham um emprego formal ou até mesmo viviam em condições de pobreza quando não miséria.

Nota-se ainda que há um grande desenvolvimento que deve ser feito para aumentar os níveis de reciclagem em todas as categorias de plásticos. Notou-se que as cooperativas estudadas focam em um pequeno leque. A maneira que os produtos são produzidos pode explicar este fato, artefatos plásticos multicamadas dificultam a separação e precisam dar lugar aos feitos de uma única resina plástica. Ou seja, a embalagem de um produto precisa ser pensada na criação se ela será reciclada da forma que está sendo idealizada.

Neste âmbito é fundamental o papel da indústria que pode catalisar a demanda por produtos mais sustentáveis. Desse modo, grande parte que o país perde por não reciclar poderia contribuir para o crescimento do segmento, bem como naturalmente estimular o desenvolvimento de outras formas de recuperar os RSU mais eficientes como a recuperação química ainda incipiente no Brasil e mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and Societal Benefits of Plastics, 2009. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, n. 364, p. 1977-1984, jul., 2009. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2008.0304>. Acesso em: 06 nov. 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Resíduos Sólidos- Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004. p. 03-05., mai., 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2019.

BRASIL. Governo Federal, Ministério do Meio Ambiente, **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, p. 06-30, ago., 2012. Disponível em: https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decret_o_280812.pdf. Acesso em: 02 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/Gabinete do Ministro, **Portaria Interministerial Nº 274, de 30 de abril de 2019**. Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do Decreto nº 7.404, de 2010. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 169, p. 57, 30 abr. 2019. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-interministerial-n%C2%BA-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>. Acesso em: 02 mai. 2019.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

CHEN, Wan T. *et al.* Use of super-critical water for the liquefaction of polypropylene into water, **ACS Sustainable Chem**, p.58, jan., 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.8b03841>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CIOCCHI, L. C. **Como montar uma empresa de reciclagem. Ideias de Negócios**. SEBRAE, p. 18, [2019]. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-empresa-de-reciclagem,0f287a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 20 set. 2020.

CONVERSION Technology: A Complement to Plastic Recycling, 4R Sustainability. **American Chemical Council**, p.15-19, apr., 2011 Disponível em: <https://plastics.americanchemistry.com/Plastics-to-Oil/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

DANTAS, Bruno; BRENDLER, Guilherme. Nota sobre o relatório “Solucionar a Poluição Plástica” (WWF). **Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST)**. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/noticias/nota-sobre-o-relatorio-solucionar-a-poluicao-plastica-wwf/>. Acesso em: 04 abr. 2019.

DUTHIE, A. C.; RIBEIRO, F. A. F. Lins. **A Economia Circular e sua relação com a Mineração**. Revista Brasil Mineral: São Paulo, p. 66-70, set., 2017.

FERRER, Paulo S.; GALVÃO, Graziela. **Economia Circular: O emergir de uma nova ordem econômica**. O Visconde: São Paulo, p. 18-20, set., 2017.

FIDELIS, Reginaldo. **Método para Determinação do Desempenho de Cooperativas de Reciclagem**. 2017. Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2920/1/PG_PPGEP_D_Fidelis%2C%20Reginaldo_2017.pdf. Acesso em: 12 ago. 2020.

FILHO, José Antonio Poletto. **Viabilidade Energética e Econômica da Incineração de Resíduo Sólido Urbano Considerando a Segregação para Reciclagem**. 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 2008. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91712/polettofilho_ja_me_bauru.pdf;jsessionid=35AD4A5F24EDC352B6C55B75737B8197?sequence=1. Acesso em: 08 nov. 2019.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, p.1-5, jul., 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1700782. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318567844_Production_use_and_fate_of_all_plastics_ever_made. Acesso em: 16 set. 2019.

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, n. 364, p. 2115-2126, jul., 2009. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0311>. Acesso em: 06 nov. 2019.

HORVAT, N.; FLORA, N. T. Tertiary Polymer Recycling: Study of Polyethylene Thermolysis as a First Step to Synthetic Diesel Fuel. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 78, p. 459–470, 1999. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.05.005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241099171_A_review_on_tertiary_recycling_of_high-density_polyethylene_to_fuel. Acesso em: 06 nov. 2019.

INTERNATIONAL Coastal Cleanup Report 2017. **Ocean Conservancy**, p. 13, jun., 2017. Disponível em https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/06/International-CoastalCleanup_2017-Report.pdf.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnósticos dos resíduos sólidos Urbanos**, 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 28 dez. 2015.

LORD, Rick; BERNICK, Libby. **Plastics and Sustainability: A Valuation of Environmental Benefits, Cost and Opportunities for Continuous Improvement. American Chemistry Council**, p.6-10, jul., 2016. Disponível em: <https://www.americanchemistry.com/Media/PressReleasesTranscripts/ACC-news-releases/Plastics-Makers-Welcome-Latest-Study-of-Plastics-Production-Use-Fate.html>
<https://plastics.americanchemistry.com/Plastics-and-Sustainability.pdf>. Acesso em: 16 set. 2019.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J.L.; MENEZES, M.A. **Estágio Atual da Incineração no Brasil**, ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública VII, Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, p. 10-20, abr., 2000. Disponível em: <http://www.resol.com.br/textos/Estado%20Atual%20da%20Incineracao%20no%20Brasil.htm>. Acesso em: 10 nov. 2019.

NEW Link in the Food Chain? Marine Plastic Pollution and Seafood. **Environ Health Perspect**, p. 5-6, fev., 2015. DOI: 10.1289/ehp.123-A34. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.123-A34>. Acesso em: 16 set. 2019.

OLIVEIRA, Maria Clara B. R. **Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas Para A Reciclagem No Brasil**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/maria_deoliveira.pdf. Acesso em: 08 nov. 2019.

PAGLIUSO, Josmar Davilson; Carlos Roberto, REGATTIERI. Estudo Do aproveitamento da energia do biogás proveniente da incineração do chorume para a geração de eletricidade. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** – número 16 p. 3-6, ago., 2008. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HGoPTC6yIPIJ:rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/download/428/373+&cd=5&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 20 nov. 2019.

PANORAMA dos resíduos sólidos no Brasil 2017. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE)**, p. 54-56, set., 2018. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27734/PPR_2018_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 set. 2019.

PARENTE, R. A. **Elementos estruturais de plástico reciclado**. 2006. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

PERFIL 2018: Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. **Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST)**, p. 54-56, jun., 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2018/>. Acesso em: 16 set. 2019.

PORTEOUS, A. **Why Energy from Waste Incineration is an Essential Component of Environmentally Responsible Waste Management**. The Open University, p. 7-9, 2005. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.02.008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15869989>. Acesso em: 20 nov. 2019.

RAHIMI, GARCIA *et al.* **Chemical recycling of waste plastics for new materials production**. Nature Reviews Chemistry, p. 1-40, ago., 2017.

SINGLE-USE Plastics: A Roadmap for Sustainability. **United Nations Environment Programme**, p. 2-12 dez., 2018. ISBN: 978-92-807-3705-9 DTI/2179/JP. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/25496>. Acesso em: 16 set. 2019.

SMET, Michiel De; GRAVIS, Lenaïc; CHURCHILL-SLOUGH, Sarah. The new plastics economy: rethinking the future of plastics & Catalysing action. **Environ Health Perspect**, p. 12-13, jan., 2016. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics-catalysing-action>. Acesso em: 16 set. 2019.

SOLUCIONAR a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização. World Wildlife Fund (WWF) - Fundo Mundial para a Natureza. **Dalberg Advisors**, p. 4-13 mar., 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 10 oct. 2019.